

γ 射线辐照预处理加速污泥厌氧消化*

郑 正¹ 袁守军² 张继彪¹ 牟艳艳¹

(1 南京大学环境学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京, 210093)

(2 合肥工业大学土木建筑工程学院, 合肥, 230009)

摘 要 采用 γ 辐照预处理加速污泥的厌氧消化过程. 结果表明, 经 γ 射线辐照处理后, 污泥厌氧消化特性明显改善: 污泥的平均粒径减小, 粒径分布由 70—120 μ m 向 0—40 μ m 迁移; 污泥絮体中微生物的细胞结构被破坏, 核酸等细胞内含物的流出增加了污泥中可溶性有机组分的含量. 污泥厌氧消化实验结果表明, 经 10kGy 辐照处理后, 污泥厌氧消化产气量大大增加, 消化率明显提高.

关键词 γ 射线, 污泥, 厌氧消化.

污泥的厌氧消化因其具有能耗低、污泥稳定效果好及产甲烷等优点而成为污泥处理与处置普遍采用的技术^[1]. 但是国内外的研究表明, 厌氧消化中的水解过程进行缓慢, 使厌氧消化的速率受到限制^[2], 导致厌氧消化一般需要较长的停留时间和较大的消化池. 污泥水解过程缓慢的主要原因与污泥本身的性质密切相关. 厌氧微生物所需要的基质大部分包裹于污泥絮体及微生物的细胞壁(膜)结构中, 从而胞外酶无法与基质进行充分有效地接触. 因此, 采用外力对污泥进行预处理, 破碎污泥絮体及絮体中微生物的细胞壁(膜)结构, 释放污泥中的溶解性有机组分, 则可加速污泥水解及整个厌氧消化过程^[3]. 目前, 常见的用于加速污泥厌氧消化的预处理方法主要有机械法、化学法、热处理法等^[4]. γ 射线是放射性元素在衰变过程中产生的一种类似于光的电磁量子波, 具有较强的光子能量和较短的波长. γ 射线对微生物的杀灭及其它有机物的降解作用已有报道^[5-6].

本文利用 γ 射线的强穿透性破坏污泥絮体及絮体中微生物的细胞膜(壁)结构, 从而加速污泥厌氧消化过程.

1 材料与方 法

1.1 污泥厌氧消化实验

辐照源为⁶⁰Co源, 放射性活度 1.85×10^{16} Bq. 污泥为南京市锁金村污水处理厂的剩余污泥(含水率为 98.5% 左右). 污泥经简单过滤剔除较大杂物(塑料袋、树枝等)后即进行辐照处理.

污泥经辐照处理后, 采用厌氧污泥进行接种, 在厌氧反应器中进行中温厌氧消化实验. 厌氧反应器体积为 500mL. 反应器内初始 pH 值为 7.0. 反应温度和搅拌强度采用恒温水浴振荡器控制, 反应温度 $35 \pm 1^\circ\text{C}$, 振荡速度 $80 \pm 10 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$. 厌氧系统经 1—2 个月驯化运行基本稳定后, 测定各厌氧反应器中产气量、消化率等指标.

1.2 样品分析

污泥粒径: 采用激光粒度仪(济南微纳仪器有限公司, JL9200)测定; 可溶性化学需氧量(SCOD): 污泥 $3500 \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 30min, 上清液经 0.45 μ m 滤膜过滤后按照标准方法测定其 COD, 即为 SCOD; 有机磷: 按照标准方法测定总磷和无机磷, 有机磷为总磷和无机磷的差值.

2 结果与讨论

2.1 粒径变化

不同吸收剂量下, 污泥粒径分布曲线如图 1 所示. 在 0—120 μ m 范围内, 未辐照污泥样品

* 国家自然科学基金资助项目 (10075027).

(0kGy) 中, 粒径主要分布于 70—120 μm 之间, 约占总颗粒的 65%; 小于 40 μm 的颗粒很少, 仅占 3% 左右. 而辐照处理 (2.48—30.75kGy) 后, 污泥中 70—120 μm 的颗粒含量大大减少, 为 10%—15%, 0—40 μm 之间的颗粒含量大大增加. 由此可见, 经 γ 射线辐照预处理, 污泥中的生物絮体颗粒被破碎成更小的颗粒, 从而更容易水解.

2.2 紫外可见光谱

污泥经辐照处理后, 对其上清液进行紫外-可见扫描, 谱图如图 2 所示. 污泥上清液的吸光度随辐照剂量升高而增加; 与未辐照样 (0kGy) 相比, 各辐照剂量的谱图中, 在 280nm 附近处出现了新峰 (200nm 附近的峰为仪器的空白吸收峰), 这可能是由于污泥中微生物细胞内溶出的核酸中的双键结构所致^[7].

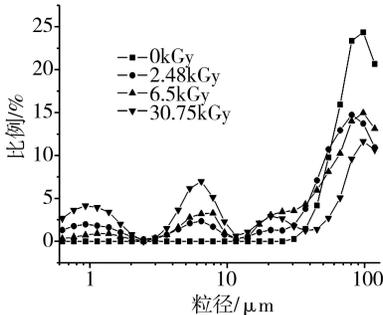


图 1 不同剂量下污泥的粒径分布

Fig 1 Distributing of sludge particle size after γ -irradiation under different absorbed doses

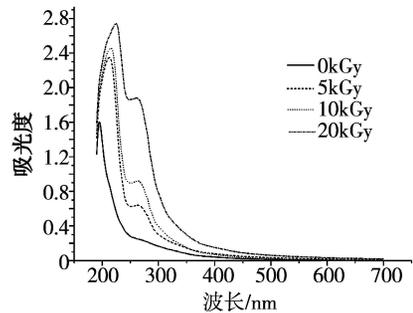


图 2 不同剂量对污泥滤液紫外-可见光谱的影响

Fig 2 Effect of absorbed doses on ultraviolet visible spectrogram of sludge filtrate

2.3 SCOD

污泥的 SCOD 主要由污水中残留的有机物、生物絮体的胞外酶以及细胞裂解凋亡后胞内流出的有机物等组成. SCOD 的大小表征了污泥厌氧消化的难易程度. 通常情况下, 剩余污泥的 SCOD 可从几十到几百 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 不等.

不同剂量下, 污泥上清液的 SCOD 如表 1 所示. 与未辐照的污泥相比, 不同剂量下污泥的 SCOD 均有不同程度的增加, 且增加率与剂量呈正相关. 在较低的剂量 (2.48 kGy) 下, SCOD 的增加效果已经比较显著 (178.7%); 当剂量增至 10—20kGy 时, SCOD 的增加率超过 500%. 大量有机组分的流出将大大提高污泥厌氧消化的速率.

表 1 吸收剂量对污泥 SCOD 的影响

Table 1 Effect of absorbed dose on SCOD of sludge

吸收剂量 /kGy	0	2.48	6.51	11.24	19.40
SCOD / $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	542	1512	2590	3380	3539
SCOD 的增加率 /%	—	178.7	377.4	523.1	552.5

2.4 核酸的变化

核酸是生物细胞内部的特有物质, 活性正常的细胞其胞外几乎不含核酸物质, 只有当细胞裂解死亡后, 核酸才由胞内向胞外和溶液中释放. 因此, 可以通过污泥滤液中核酸的含量间接反映污泥絮体中细胞的破碎程度.

由于核酸分子中含有一定比例的磷, 且含量比较接近和恒定, 因此, 可以用有机磷的浓度来反映核酸含量^[8]. 本实验中, 滤液中有机磷的含量随吸收剂量的变化曲线如图 3 所示. 对于未辐照的污泥样品 (0kGy), 其有机磷的含量很低, 几乎接近于 0. 这可能与所取污泥的性质有关. 实验中供试污泥为新鲜的剩余污泥, 微生物的活性很强, 裂解死亡的细胞含量较少, 故核酸的含量相对很低. 而经辐照处理后, 各吸收剂量下有机磷的浓度均有明显升高, 尤其当吸收剂量达到 7kGy 时, 有机磷含量

增加显著. 随着吸收剂量的提高, 有机磷的浓度仍然有增加的趋势, 当吸收剂量达到 10kGy时, 有机磷的浓度增至 $15\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 左右. 由此可见, 由于 γ 射线对微生物的破碎作用, 细胞内含物的溶出大大增加了污泥中可溶性基质的含量, 从而改善了污泥的厌氧消化特性.

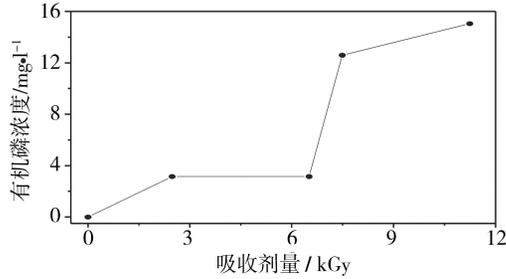


图 3 吸收剂量对污泥滤液中有机磷含量的影响

Fig 3 Effect of absorbed doses on the concentration of organic phosphorus in sludge filtrate

2.5 污泥厌氧消化实验

实验选择的辐照剂量为 10kGy. 充分驯化后为期约 2 个月的时间内, 厌氧系统运行基本稳定. 运行期间, 各反应器中污泥的 pH 值均略有升高, 但始终保持在 7—8 之间, 适合产甲烷菌的生长.

在不同的停留时间 (SRT) 下, 辐照处理后日平均产气量均有不同程度的增加 (表 2). 与未辐照处理的污泥相比, 经 10kGy 处理后, SRT 为 8d、12d 和 20d 反应器中日平均产气量的增加率分别为 77.4%, 63.5% 和 46.8%. 停留时间对污泥厌氧消化产气量的影响较大, 无论是否经过辐照处理, 停留时间延长, 产气量降低, 这与王世和等^[9]的研究结论一致. 这主要是由于在停留时间较短 (8d) 时, 每天投配进入反应器的污泥的体积较多, 厌氧微生物可直接代谢的基质浓度较高, 故日产气量大于较长停留时间的反应器.

污泥厌氧消化产气的效率可采用比产气率表示 (表 2). 与未辐照污泥相比, 经 10kGy 处理后污泥的比产气率均有显著提高, SRT 为 8d、12d 和 20d 时, 比产气率的增加率分别为 52.6%, 53.3% 和 37.6%. 由此可见, 由于辐照处理, 污泥的理化特性得到改善, 基质环境更利于产甲烷菌新陈代谢的进行. 另外, 污泥厌氧消化的停留时间延长, 厌氧菌对基质利用更加充分, 故比产气率增加.

污泥通过厌氧消化后所达到的稳定程度通常可采用消化率 (即 VS 的去除率) 来表示 (表 2). 辐照处理后, 各停留时间下污泥消化率均有不同程度的增加, 在 SRT 为 8d、12d 和 20d 时, 经 10kGy 辐照处理后, 污泥消化率的增加率分别为 16.3%, 6.5% 和 6.7%.

表 2 不同停留时间下污泥厌氧消化产气的效率

Table 2 The gas production and the digestion ratio of sludge

吸收剂量 / kGy	日平均产气量 / ml			比产气率 / $\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$			消化率 / %		
	SRT= 8d	SRT= 12d	SRT= 20d	SRT= 8d	SRT= 12d	SRT= 20d	SRT= 8d	SRT= 12d	SRT= 20d
0	32.8	27.1	21.6	83.7	87.6	109.2	41.7	49.3	52.6
10	58.2	44.3	31.7	127.6	134.5	150.2	48.5	52.5	56.1

3 结论

(1) 经 γ 射线辐照处理后, 污泥絮体颗粒的平均粒径减小, 粒径分布由 70—120 μm 向 0—40 μm 迁移.

(2) 经 γ 射线辐照处理后, 污泥絮体中微生物的细胞结构被破坏, 核酸等细胞内含物的流出大大增加了污泥中可溶性有机组分的含量.

(3) 经 γ 射线辐照处理后, 污泥厌氧消化产气量增加, 消化率提高, 消化过程得以加速.

参 考 文 献

- [1] Lin J G, Chang C N, Chang S C, Enhancement of Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge by Alkaline Solubilization [J] . *Bioresource Technology*, 1997, **62** : 85—90
- [2] Eastman J A, Ferguson J F, Solubilization of Particulate Organic Carbon During the Acid Phase of Anaerobic Digestion [J] . *JWPCF*, 1981, **53** (3) : 352—366
- [3] Choi H B, Hwang K Y, Shin E B, Effects on Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Pretreatment [J] . *Wat. Sci. Tech.*, 1997, **35** (10) : 207—211
- [4] 牟艳艳, 于鑫, 郑正等, 污泥厌氧消化预处理方法研究进展 [J] . 中国给水排水, 2004, **20** (7) : 31—33
- [5] Yeager J G, O' Brien R T, Irradiation as a Means to Minimize Public Health Risks from Sludge Borne Pathogens [J] . *Water Pollut. Control Fed.*, 1983, **55** : 977—983
- [6] Song W H, Zheng Z, Rani A S et al, Degradation and Detoxification of Aqueous Nitrophenol Solutions by Electron Beam Irradiation. *Radiat. Phys. Chem.*, 2002, **65** (4—5) : 559—563
- [7] 牟艳艳, γ 射线辐照预处理对污泥厌氧消化性质的影响及其机理研究 [D] . 南京大学硕士论文, 2005
- [8] 郭健, 刘宁, 王义新, 保健食品中总核酸的测定 [J] . 中国公共卫生, 2001, **17** (8) : 697
- [9] 王世和, 远藤郁夫, 常温厌氧消化的停留时间分析 [J] . 中国环境科学, 1998, **18** (3) : 218—222

ACCELERATION THE SPEED OF SEWAGE SLUDGE ANAEROBIC DIGESTION BY γ -IRRADIATION PRETREATMENT

ZHEHG Zheng¹ YUAN Shou-jun² ZHANG Ji-biao¹ MU Yan-yan¹

(1 School of Environment Nanjing University, State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Nanjing 210093, China
2 School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

ABSTRACT

The feasibility of accelerating the speed of sewage sludge anaerobic digestion by γ -irradiation pretreatment was discussed in this paper. Anaerobic digestibility of sludge was improved remarkably after irradiation treatment. floc structure of sludge was destroyed by the irradiation leading to the reduction of sludge particle sizes and the shift of particle size distribution from 70—120 μ m to 0—40 μ m occurred. Microbes in sludge were sterilized and the cellular components such as nucleic acid were released into the extracellular environment resulting in the increasing of soluble organic matters in sludge. It was indicated from the anaerobic digestion experiments that the gas production and the digestion ratio of sludge at each reactor added after 10kGy irradiation pretreatment.

Keywords γ -irradiation, sludge, anaerobic digestion.